

---

# AV-Steuereinheit für die Verwendung im Ausstellungskontext

Michael Kirschner

Hochschule Ansbach, Multimediale Information und Kommunikation, Residenzstr. 8, 91522 Ansbach  
michael.kirschner@hs-ansbach.de

## Zusammenfassung/Abstract

Mit der AV-Steuereinheit wird Kunstschaffenden ein einfach zu bedienendes, kompaktes und preisgünstiges Device zur Verfügung gestellt, welches in verschiedensten Kunstinstallationen und -objekten eingesetzt werden kann. Es bietet die Möglichkeit Ausstellungen über längere Zeiträume hinweg ohne besondere Betreuung zu betreiben. Automatische Aus- und Einschaltzeiten können festgelegt werden. Des Weiteren wurde bei der Entwicklung viel Wert daraufgelegt, dass ein erneuter und sicherer Betrieb auch nach eventueller Fehlbedienung oder unerwarteten Spannungsausfällen gewährleistet ist.

Das gleichzeitige und vor allem synchrone Abspielen von verschiedenen Medieninhalten und Steuersignalen ist die Hauptfunktion der Steuereinheit. So können Audiodateien, Videodateien, DMX- und MDI-Signale in Schleife oder zu bestimmten Zeiten abgespielt bzw. gesendet werden. Die Programmierung findet mit weit verbreiteter Freeware wie Pure Data, Putty und FileZilla und handelsüblichen Computersystemen statt. Durch die Verwendung von integrierter Wireless-Technologie kann komplett auf weitere Peripherie und die kabelgebundene Anbindung verzichtet werden. Das System stellt viele verbrauchergerechte und standardisierte Schnittstellen wie einen HDMI Anschluss zur Ausgabe von Video- und Audiosignalen, DIN-Buchsen zur Ein- und Ausgabe von MIDI-Signalen, 3-polige-XLR-Buchsen zum Empfangen und Senden von DMX-Steuersignalen und 3,5 mm Klinkenbuchsen als Ein- und Ausgang für Audiosignale. Für spezielle digitale Audioübertragungen ist je ein S/PDIF Ein- und Ausgang vorhanden. Für die Konfiguration und weiterführende Verwendungen des Systems (außerhalb der bisherigen Konfiguration) kann auf eine LAN-Ethernet-Schnittstelle und USB-Anschlüsse zurückgegriffen werden.

## 1 Einleitung

Durch die zunehmende Technologisierung und sich stetig weiterentwickelnde computerbasierte Ausstellungstechnik ist die Verwendung von digital gesteuerten Beleuchtungs-, Audio- und Videosystemen bei vielen Kunstprojekten nicht mehr wegzudenken. Viele Ausstellungen werden durch computerbasierte Rechnersysteme und den Einsatz von zum Beispiel steuerbarer Beleuchtungstechnik, mehrkanaligen Audiosystemen oder Videoprojektionen in den verschiedensten Formen erst möglich oder durch deren Einsatz wesentlich attraktiver für den Rezipienten.

Im Folgenden beschriebene Steuereinheit soll dazu beitragen Ausstellungstechnik weiter zu entwickeln und es dem Künstler zu vereinfachen verschiedenste Technologien einzusetzen und miteinander zu verknüpfen. Ziel der Entwicklung war es, eine kostengünstige computerbasierte AV-Steuereinheit zu entwickeln, die im Ausstellungskontext eingesetzt werden kann, mit der Programmierumgebung Pure Data programmierbar ist und die Option zur Ausgabe von Audio-, Video-, Midi- und DMX-Signalen bietet.

## 2 Motivation

Durch die Mitarbeit an der Erstellung verschiedener Ausstellungen und der damit verbundenen Entwicklung und Ausarbeitung der technischen Elemente konnte der Autor einen detaillierten Einblick in diese Arbeit mitsamt der auftretenden Problemstellungen bekommen. Viele Ausstellungen brauchten durch die Komplexität der verschiedenen Systeme und der Schwierigkeiten beim Synchronisieren dieser, sehr viel Zeit und Energie der Künstler/Ersteller um die Technik in den Griff zu bekommen. Auch finanziell scheiterten manche Projekte daran, dass die Technik zu aufwendig und kostspielig wäre um einige kreative und vielversprechende Ideen umzusetzen.

Zu den wichtigsten motivierenden Punkten gehörten:

- der Künstler sollte mit überschaubarem Budget möglichst viele benötigte Technologien einsetzen können,
- es sollte möglichst nur eine Steuereinheit für sämtliche Komponenten verwendet werden,

- die Steuereinheit sollte kompakt sein um auch in Installationen mit begrenzten Platzverhältnissen eingesetzt werden zu können,
- der Stromverbrauch sollte gering sein um eine Verwendung in Bereichen ohne Stromversorgung zu ermöglichen und den Umweltaspekt zu berücksichtigen und
- die Bedienung sollte ohne besondere Vorkenntnisse für jeden Bediener beherrschbar sein.

### 3 Ähnliche Entwicklungen

Derzeit befinden sich einige Systeme mit ähnlichen Eigenschaften in der Entwicklung, waren jedoch zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Dokuments noch nicht fertiggestellt.

Im hochpreisigen Segment sind einige Softwaresysteme wie der ShowMagic<sup>1</sup> oder der Arkaos Media Master Pro 4.0<sup>2</sup> zu finden. Diese bieten jedoch trotz hoher Preise keine Stand-Alone-Funktionalität. Es ist bei diesen Systemen immer ein komplettes Computersystem mit Ein- und Ausgabeperipherie und je nach Anwendung diverse Erweiterungskarten oder USB-Interfaces notwendig.

### 4 Implementierung

Da es sich bei den meisten Ausstellungsstücken um Unikate mit sehr vielfältigen Ausführungen handelt, muss die Steuereinheit möglichst vielen verschiedenen Anforderungen gerecht werden. Um kostensparend zu arbeiten gibt es eine Grundausrüstung, die je nach Anforderung durch mehrere Komponenten erweitert werden kann. Dabei ist jede Kombination der Erweiterungen möglich und kann individuell auf die Bedürfnisse des Künstlers abgestimmt werden.

#### 4.1 Grundausrüstung

Als Basis kommt ein Raspberry Pi 3 Modell B zum Einsatz. Der ARMv8 Prozessor mit 4 Kernen taktet mit bis zu 1,2 Gigahertz und ist 64-bit-fähig. Es verfügt über 1024 MB RAM mit integriertem VRAM Arbeitsspeicher, einem GPU Grafik Prozessor mit Full HD 1080p Unterstützung, einem 2,4 GHz-WLAN und einem Bluetooth 4.1 Low Energy (BLE) Modul. Als Anschlussmöglichkeiten sind vier USB 2.0 Anschlüsse, eine Standard HDMI Buchse für Monitore, Displays, Projektoren oder TV-Geräte, eine 3,5 mm kombinierte Audio und Compositevideo Buchse, eine RJ45 LAN Anschluss 10/100 Base T Netzwerk Buchse, ein Micro USB Port zur Energieversorgung und eine 40 polige GPIO Anschlussleiste vorhanden. Außerdem steht ein 15-poliger MPI-CSI-2-Steckverbinder für eine vom gleichen Hersteller entwickelte HD-Videokamera und ein 15-poliger serieller Display-Schnittstellensteckverbinder (DSI), z.B. für das offizielle Touchscreen-Display zur Verfügung.

Um einen ausfallsicheren Betrieb zu gewährleisten wird eine Erweiterungsplatine S.USV pi basic mit einem externen Akku und einer integrierten Real Time Clock (RTC) verwendet. Diese wird auf den Raspberry Pi aufgesetzt und über die GPIO-Steckerleiste verbunden. Sie ermöglicht das sichere Herunterfahren bei Spannungsausfall, die Aufrechterhaltung des Betriebs für einen bestimmten Zeitraum ohne Versorgungsspannung, Ein- und Ausschalten des Systems über integrierte oder extern verbundene Taster, softwaregesteuerte Kontroll- und Monitoringfunktionen und das zeitgesteuerte Ein- und Ausschalten des gesamten Systems. Gerade die Funktion des zeitgesteuerten Hoch- und Herunterfahrens ist im Ausstellungskontext eine sehr praktische Eigenschaft, denn sie verringert den personellen Aufwand der Ausstellungsorte. Auch der Einsatz der RTC ist bei Ausstellungen sehr wichtig und sorgt dafür, dass die Systeme in ihrem Standort verändert und ohne größeren Konfigurationsaufwand weiter betrieben werden

---

<sup>1</sup> <https://www.showmagic.com/>

<sup>2</sup> <http://www.arkaospro.com/software/mediamaster-pro>

---

können. Die S.USV-Platine verfügt über die Weiterverbindung der GPIO-Steckerleiste und bietet somit die Möglichkeit weitere Platinen an das System anzuschliessen.

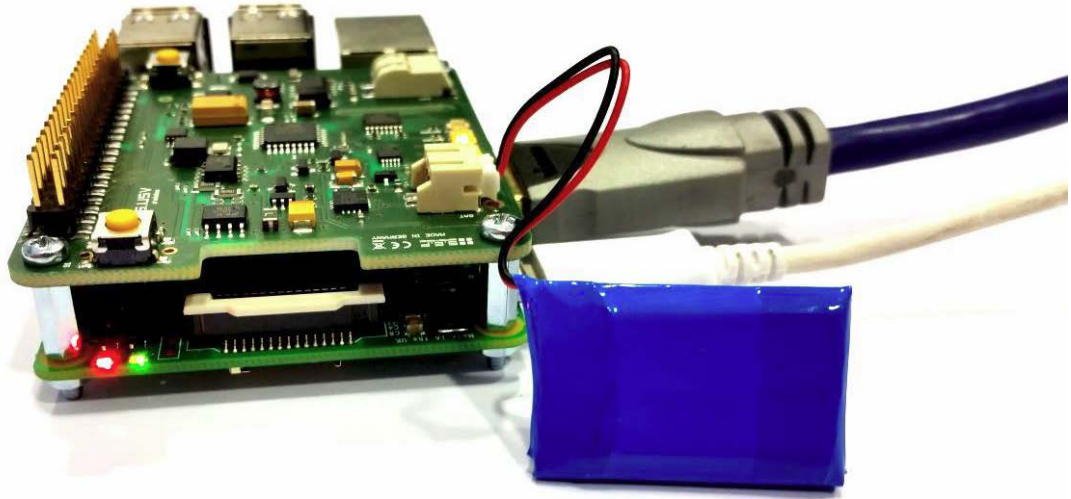


Abbildung 1: Raspberry Pi mit aufgesteckter USV als Basisversion

Der Raspberry Pi wird mit der aktuellsten Version des Raspian Betriebssystems Jessie betrieben. Dabei handelt es sich um ein LINUXbasiertes Betriebssystem, das bei Bedarf mit einer grafischen Oberfläche (PIXEL - Pi Improved Xwindows Environment, Lightweight)<sup>3</sup> genutzt werden kann. Für den Betrieb in den meisten Fällen ist jedoch die Kommandozeilensteuerung vorteilhafter und vor allem ressourcensparender.

Um die standardmäßige niedrige Audio-Qualität des Raspberry Pi zu verbessern wird ein USB-Audio-Interface eingesetzt. Das Interface von LogiLink erweitert das System um 8 diskrete Audiokanäle, die über 3,5 mm Klinkenanschlüsse ausgeführt sind. Außerdem vier analoge Eingänge und je einen S/PDIF Ein- und Ausgang zur Verfügung gestellt.

Standardmäßig ist der benötigte OMX-Player, ein HD-fähiger, kommandozeilengesteuerter Medienplayer, schon im Betriebssystem enthalten und muss somit nicht nachinstalliert werden. Dieser wird für die Wiedergabe von Videoinhalten benutzt. Beim Einsatz des OMX-Players ist die Audioausgabe über ein USB-Interface nicht gegeben und muss über die HDMI-Ausgabe erfolgen. Da der OMX-Player aber nur genutzt wird, sobald auch Video-Signale ausgegeben werden stellt dies in den wenigsten Fällen ein Problem dar und die Ausgabe wird von den HDMI-fähigen Geräten bzw. Adaptern übernommen.

Als Software für das Abspielen von Audioinhalten, die Erzeugung von Klängen und die Ansteuerung der DMX-, sowie Midihardware kommt die datenstromorientierte Programmiersprache und Entwicklungsumgebung Pure Data zum Einsatz. Es handelt sich hierbei um eine Open-Source-Software die mittlerweile von vielen Multimedia-Künstlern eingesetzt wird. Sie ermöglicht es Musikern, Künstlern, Artisten, Forschern und Entwicklern Software grafisch zu erstellen ohne Code schreiben zu müssen<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> <https://www.raspberrypi.org/blog/introducing-pixel/>

<sup>4</sup> <https://puredata.info/>

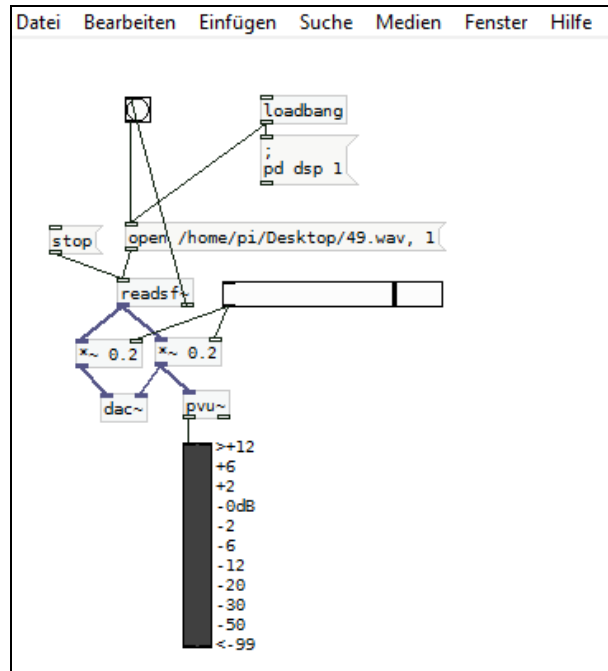


Abbildung 2: PureData Patch geloopte Audiowiedergabe

## 4.2 DMX-Erweiterung

Das DMX-Protokoll ist ein Industriestandard, der hauptsächlich für Lichttechnik Anwendungen in der Veranstaltungsbranche verwendet wird und die Steuerung von Dimmern, Moving Heads, Stroboskopen und anderen Geräten ermöglicht. Die vielen Möglichkeiten die dieses digitale Steuerprotokoll bietet machen DMX-gesteuerte Leuchten auch für viele Kunstinstallationen interessant und durch die Verfügbarkeit preisgünstiger Scheinwerfer ist diese Technik sehr weit verbreitet.

Um DMX-Signale zur Verfügung stellen zu können kommt als Hardware eine Erweiterungsplatine der Marke BitWizard zum Einsatz. Diese wird auf den Raspberry Pi (optional mit oder ohne S.USV-Platine) aufgesteckt und durch die GPIO-Pins verbunden. Durch einen eigenen Mikrocontroller auf der Erweiterungsplatine, der die Hauptarbeit in der Erzeugung der DMX-Signale leistet, wird die CPU des Raspberry Pi kaum belastet. Die Kommunikation zwischen den Platinen benötigt nur einen GPIO-Pin, so dass für weitere Anwendungen noch genügend freie Pins zur Verfügung stehen.

Softwareseitig arbeitet die DMX-Erweiterungskarte mit der Open Lighting Architecture kurz OLA zusammen. OLA stellt ein web-user-interface zur Verfügung<sup>5</sup> mit dem die Funktion überprüft werden kann. Dazu besteht die Möglichkeit auf der Weboberfläche (bei bestehender WLAN-Verbindung) den aktuellen Zustand der DMX-Steuersignale anzuzeigen. Zu Testzwecken ist hier auch die manuelle Steuerung der angeschlossenen DMX-fähigen Leuchten gegeben.

In Pure Data erzeugte Werte zum Steuern der Leuchten werden über eine Shell-Ausgabe an OLA übergeben und von dort an die DMX-Erweiterungskarte und schließlich an die angeschlossenen Endgeräte gesendet. Da es sich bei Pure Data um eine weit verbreitete Programmiersprache handelt sind sehr viele Künstler mit der Handhabung vertraut und können einfache Befehle schon mit wenig Aufwand programmieren und automatisieren. Eine Verknüpfung der Erzeugung von Audioinhalten und DMX-Steuerbefehlen ist ohne weiteres möglich und die selben Timer/Taktgeber können benutzt werden. Die Steuerung der DMX-Befehle durch Audiosignale kann durch Analyseobjekte wie dem fiddle-Objekt bewerkstelligt werden.

<sup>5</sup> <https://www.openlighting.org/ola/tutorials/ola-on-raspberry-pi/>

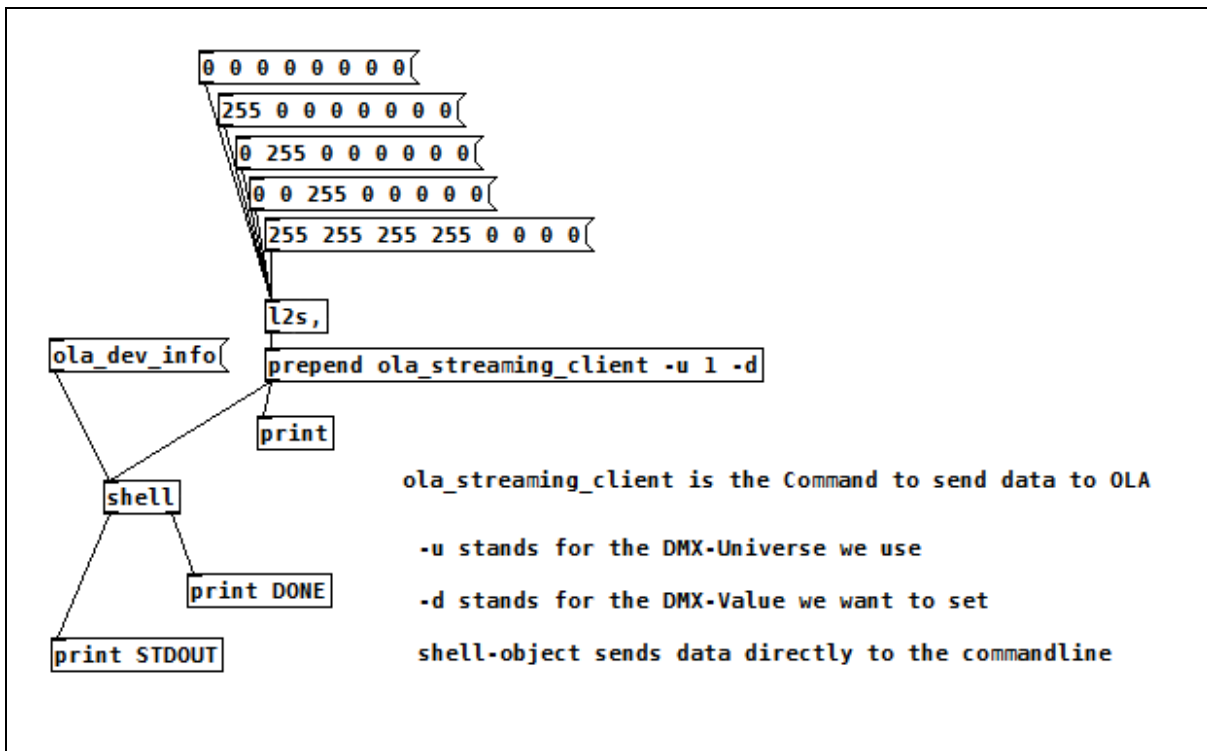


Abbildung 3: Pure Data Patch DMX-Ansteuerung

### 4.3 Midi-Erweiterung

MIDI ist ein Industriestandard, der zum Austausch von Steuersignalen zwischen verschiedenen elektronischen Instrumenten wie Synthesizern und Keyboards dient. Der schon 1982 eingeführte<sup>6</sup> Standard findet trotz seines Alters immer noch Verwendung und wird häufig zur Erzeugung elektronischer Musik oder zum Ansteuern von Klangerzeugern und Effektgeräten genutzt.

Das Thomann Midi-USB-Interface 1x1 dient zum Senden und Empfangen solcher Midi-Signale. Der Betrieb am Jessie-Betriebssystem ist ohne besondere Treiberinstallation möglich. Es verfügt über je einen DIN-Stecker für MIDI-In und MIDI-Out.

## 5 Zugriffs-, Konfigurations- und Bedienungsmöglichkeiten

### 5.1 Zugriffsmöglichkeiten für den Benutzer/Künstler

Um einen einfachen Zugriff unter Verwendung von gängiger Hard- und Software zu ermöglichen wird die integrierte WLAN-Schnittstelle des Raspberry Pi genutzt und ein WLAN-Netzwerk erzeugt. Der Raspberry Pi dient als Router mit DHCP-Server und kann somit von jedem herkömmlichen WLAN-fähigen Device angesprochen werden. Über ftp-Programme (z.B.: FileZilla) kann der Künstler, nachdem er sich mit dem Netzwerk verbunden hat, sehr einfach die verwendeten Audio- und Videodateien auf das System laden. Audiodateien sind im wave-Format, Videodateien im mp4-Format hochzuladen und mit dem entsprechenden vorgegebenen Namen zu versehen (beim Prototyp z.B.: 49.wav). Sie müssen in das Verzeichnis /home/pi/Desktop geladen werden.

<sup>6</sup> [http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise\\_97/journal/vol1/aps2/](http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_97/journal/vol1/aps2/)

## 5.2 Konfigurationsmöglichkeiten

Das im Ausstellungskontext gefragte automatische Ab- und wieder Einschalten von Installationen wird bei diesem System von der USV übernommen und kann über den SSH-Fernzugriff konfiguriert werden. Hierzu ist die Verbindung mit dem WLAN und die Verwendung eines geeigneten SSH-Programms (z.B.: Putty) notwendig. Nach dem einloggen mit den bekannten Benutzerdaten kann das System mit einigen Befehlen per Kommandozeileneingabe im S-USV-Client konfiguriert werden. Der Befehl `./susv -status` zeigt den aktuellen Stand an (siehe Abbildung 1).

Die automatischen Boot- und Shutdownzeiten, das Abfrageintervall zur Überwachung der Spannungsversorgung und die Zeit bis zum sicheren Herunterfahren bei Spannungsausfall werden über ähnlich kurze Befehle eingestellt.

Verfügt das System über einen Zugang zum Internet, kann der S.USV-Client auch eine E-Mail mit einem vorgefertigten Text an eine beliebige voreingestellte Adresse versenden und somit den Künstler oder die Ausstellungsbetreiber über den Ausfall der Spannungsversorgung informieren. Hierzu ist die Eingabe der Zugangsdaten zu einem verfügbaren E-Mail-Konto notwendig.

Durch das Einbinden von benutzerdefinierten Scripten ist die Individualisierung des Shutdownvorganges möglich und es können besondere Maßnahmen getroffen werden um z.B. aufwendigere Programme sicher und ohne Datenverlust zu beenden.

```
pi@raspberrypi ~ $ sudo ./susv -status
*****
*
* S.USV pi solutions
* www.s-usv.de
*
* Model: Advanced
* Firmware Version: 1.3
* Software Version: 1.3
*
* Mail notification: Enabled
*
* Timed Boot: Enabled
* Boot time: 07:00:00
*
* Timed Shutdown: Enabled
* Shutdown time: 18:00:00
*
* Sun Jan 10 09:39:11 2016
*
*****
*
* Powering Source: Primary
* Charging circuit: ONLINE
* Charging current: 300 mA
*
* Voltage in: 5.29 V
* Battery capacity: 96.20%
* Battery voltage: 4.18V
* Power Battery: 000.00 mA
* Power Extern: 372.82 mA
*
* Shutdown timer: -1
* Autostart: enabled
* Sleep timer: 1
*
*****
```

Abbildung 4: Statusanzeige der S.USV-Platine und Konfiguration

## 5.3 Bedienung während des Betriebs

Während des normalen Betriebs ist keine Bedienung notwendig, denn das System kann selbstständig zeitgesteuert Hoch- und Herunterfahren. Auch ein Dauerbetrieb ist möglich und kann einfach konfiguriert werden.



---

Da viele Ausstellungsstücke während des Betriebs ohne Betreuung durch Techniker oder geschultes Personal laufen, ist eine einfache Bedienung für grundlegende Funktionen wie Ein- und Ausschalten essentiell. Zusätzlich zu den automatischen Ein- und Ausschaltzeiten kann durch eventuelle Sonderführungen außerhalb der Öffnungszeiten des Ausstellungsortes oder Veranstaltungen in den Ausstellungsräumen das manuelle Ein- und Ausschalten nötig werden. Hierfür sind zwei Taster auf der USV-Platine angebracht, die durch einfache Taster z.B. im Gehäuse des Objekts erweitert werden können. Ein Taster dient zum Starten des Systems, sollte es gerade nicht aktiv sein, der andere zum sicheren Abschalten während des Betriebs. Werden diese Taster betätigt bleibt das System in dem Zustand und wird durch das nächste Kommando (ob manuell oder zeitgesteuert) wieder in den dann gewünschten Betriebszustand versetzt.

## **6 Ergebnisse**

Durch die Entwicklung der Steuereinheit soll es Künstlern ermöglicht werden sich bei der Erstellung von Kunstinstallationen auf ihre kreative Tätigkeit zu konzentrieren. Sie sollen möglichst wenig durch Hürden in der technischen Ausführung oder der Finanzierbarkeit davon abgelenkt werden ihre Visionen und Vorstellungen zu realisieren. In ersten Tests durch den Autor hat sich das System als stabil genug erwiesen dem Ausstellungalltag gewachsen zu sein. Ob ohne Betreuung, oder mit der Betreuung durch nicht eingewiesenes Personal wurde eine Lösung gefunden den zuverlässigen Betrieb der Installationen zu sichern.

## **7 Diskussion**

Die Erstellung eines einfachen und kostengünstigen Systems mit den Eigenschaften Audio- und Videoinhalte synchron zu DMX- und Midisignalen wiedergeben zu können ist durch das Voranschreiten der Technik und die Entwicklung kleiner und leistungsstarker Minirechner möglich geworden. Nach Auffassung des Autors ist diese Entwicklung in der Kunstbranche auch ein wichtiger Schritt auf dem Weg dem Künstler mehr Freiheit in seiner Kreativität zu ermöglichen.

Sicherlich stößt man mit den kleinen Systemen auch schnell an Leistungsgrenzen und bei sehr komplexen und rechenintensiven Anforderungen werden größere Systeme notwendig. Durch die weitere Steigerung der Rechenleistung von modernen Prozessoren und dem sinkenden Platz- und Energieverbrauch dieser werden jedoch auch stetig neue und leistungsstärkere Minirechner auf den Markt kommen und können in Systemen wie diesem integriert werden.

Der erste Praxiseinsatz der AV-Steuereinheit wird ab Mitte März 2017 in einer Ausstellung zur Lutherdekade stattfinden. Vorgesehen ist der Einsatz in sechs Installationen, die über verschiedene Medieninhalte verfügen. Eine Betreuung der Systeme ist nicht vorgesehen, so dass diese selbstständig laufen müssen. Da die gesamte Ausstellung Ende April 2017 den Standort wechselt sind eventuell notwendige Anpassungen zu diesem Zeitpunkt möglich.

## **8 Ausblick**

Um dem Künstler noch mehr kreativen Freiraum zu geben und ihn mit seinen gewohnten Werkzeugen, wie bestimmten DMX-Lichtsteuerpulten arbeiten zu lassen, sollte als Erweiterung die Möglichkeit der Aufzeichnung von DMX-Signalen implementiert werden. Wie bei einer Bühnenperformance könnte der Künstler zu einer laufenden Audio- oder Videodatei seine Lichtshow „live“ einspielen und auf dem Steuergerät aufzeichnen. Ein synchrones Abspielen der Audio- und Videoinhalte und den DMX-Steuerdaten könnte danach im Loop laufen und sozusagen den Medienteil der Installation ständig wiedergeben. Die verwendete Hardware besitzt alle Komponenten um DMX-Signale zu empfangen<sup>7</sup>, jedoch wurde die entsprechende Software dazu noch nicht geschrieben.

---

<sup>7</sup> <http://bitwizard.nl/shop/dmx/DMX-interface-for-Raspberry-pi>

Um dem Benutzer die Handhabung einfacher zu machen und ohne weitere Hardware zu ermöglichen könnte der Datentransfer auf das System über einen einfachen USB-Stick erfolgen. Dazu müssten nur die entsprechenden Dateien mit vordefinierten Namen auf einen USB-Stick geladen werden und dieser in einem USB-Steckplatz des Raspberry Pi platziert werden. Ein Script übernimmt sobald das Speichermedium erkannt wird das Kopieren der Dateien an die richtige Stelle und ab diesem Zeitpunkt würden diese verwendet (vgl. Beck 2015).

Für den Betrieb ohne Stromversorgung durch das übliche Netz ist die USV-Erweiterungsplatine auch mit einem Widerange-Power-Anschluß verfügbar, der es ermöglicht das System an verschiedenen Spannungsquellen zu betreiben. Diese macht die Installationen absolut standortunabhängig und kann je nach Kapazität der verwendeten Stromspeicher auch für lange Laufzeiten ohne externe Stromversorgung eingerichtet werden. Eine Einbindung regenerativer Energiequellen wie Solarpanels ist denkbar und durch die Möglichkeit des Anschlusses einer 12 V-Spannungsquelle an das System einfach und kostengünstig realisierbar.

Durch die Verwendung des USB-Audio-Interfaces mit der Möglichkeit Mehrkanalton auszugeben liegt die Implementierung von dreidimensionalen Audioinhalten nahe. Dies könnte mit einfachen Mitteln in Pure Data programmiert werden. Durch die richtige Zuordnung von passend im Raum angebrachten Lautsprechern und die entsprechenden Audioinhalte sind begehbare Installationen mit einem 360 Grad Klangerlebnis denkbar.

## 9 Quellenverzeichnis

### Literatur

Beck F. (2015). Prototyping mit dem Raspberry Pi: Realisierung eines interaktiven Untersatzes für die multimediale Erweiterung von Getränkeboxen

### Online-Quellen

[http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise\\_97/journal/vol1/aps2/](http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_97/journal/vol1/aps2/) - Zugriff 13.02.2017

<https://www.openlighting.org/ola/tutorials/ola-on-raspberry-pi/> - Zugriff 12.02.2017

<http://bitwizard.nl/shop/dmx/DMX-interface-for-Raspberry-pi/> - Zugriff 12.02.2017

<https://www.showmagic.com/> - Zugriff 02.02.2017

<http://www.arkaospro.com/software/mediamaster-pro> - Zugriff 02.02.2017

<https://puredata.info/> - Zugriff 10.01.2017

<https://www.raspberrypi.org/blog/introducing-pixel/> - Zugriff 14.02.2017